

T  
552.5  
V335  
c.2



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

“Evaluación de la Resistencia a la Abrasión  
de los Miembros Cayo S.S. y Guayaquil Chert,  
de la FM, Cayo.”

# PROYECTO DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de:  
INGENIERA EN GEOTECNIA**

Presentado por:

**SYLVIA Ma. VASQUEZ SANTISTEVAN**

---

**Guayaquil, Ecu**



1990

## AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral por haberme brindado una formación profesional en Ingeniería Geotécnica.

A los profesores de la ESPOL, en especial a los ingenieros Raúl Maruri y Jorge Rengel que compartieron sus conocimientos y experiencia en mi instrucción superior.

A mi director del Tópico, Ing Miguel A. Chávez M., quien dedicó tiempo, orientación y experiencia en el desarrollo del presente trabajo.

A mis amigos Iván Apolo, Jaime Chávez, Ma. Dolores Medina, Ma. Lorena Martín, Zobeida Cisneros, Jorge Murillo que me brindaron su valiosa ayuda.

A MIS PADRES

HERMANAS

Y A GIOVANNI



.....  
Ing. Miguel A. Chávez M.  
DIRECTOR DEL TOPICO



.....  
Ing. Gastón Proaño C.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



.....  
Ing. Hugo Eguez R.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este Proyecto de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

.....  
Sylvia María Vásquez Santistevan

## RESUMEN

El área tipo estudiada fueron los Cerros de Durán, debido a su fácil acceso, sus frentes de cantera frescos y a que afloran en condiciones favorables, la mayor parte de los Miembros de la Formación Cayo : Cayo S.S. y Guayaquil Chert.

Partiendo de un reconocimiento de campo e identificación geológica de los estratos que constituyen dichos miembros, se llega a identificar niveles litológicos en cada uno de ellos.

Para caracterizar geomecánicamente dichos niveles se muestreó en nueve estaciones (plano # 1), en las cuales se obtuvieron 15 muestras, efectuándose 43 pruebas de resistencia a la abrasión en la máquina de Los Angeles.

Como resultado de estos análisis, se caracterizaron geomecánicamente los niveles litológicos, previamente identificados.

El miembro Guayaquil Chert ofrece una resistencia prome-

dio al desgaste de abrasión del 21.39 % en sus dos niveles, (tabla # I) mientras que Cayo S.S. ofrece el 26.86 % de resistencia promedio al desgaste en tres de sus cuatro niveles, los mismos que presentan resistencia a la abrasión similar.

Se encontró que un cuarto nivel de Cayo S.S., denominado C2, presenta resistencia al desgaste muy diferente a la encontrada en los otros niveles, obteniendo valores de resistencia al desgaste para C2 del 60 %, notándose que este material (brechoso) debe ser desechado como material para pavimentos, pudiendo utilizárselo tan solo, como material de relleno.

Tomando en consideración, a más de este trabajo, información geomecánica ya existente para esta formación, se observa que los niveles caracterizados, presentan aproximadamente la misma resistencia a la abrasión, sea cual fuere la localización dentro de la Formación Cayo.

## INDICE GENERAL

	PAGS.
RESUMEN .....	VI
INDICE GENERAL .....	VIII
INDICE DE ABREVIATURAS .....	XI
INTRODUCCION .....	XII
CAPITULO I	
INFORMACION ANTERIOR .....	14
1.1 Información Cartográfica.....	14
1.2 Información Geológica .....	14
1.3 Información geomecánica .....	15
1.4 Trabajos sobre resistencia a la abrasión .....	15
CAPITULO II	
UBICACION Y GEOLOGIA LOCAL .....	17
2.1 Ubicación .....	17
2.2 La Formación Cayo .....	18
2.3 Geología Estructural .....	21
2.3.1 Principales Estructuras .....	21

## CAPITULO III

INVESTIGACION DE CAMPO Y LABORATORIO .....	24
3.1 Reconocimiento Geológico .....	24
3.2 Relación Litológica Geomecánica .....	24
3.3 Muestreo .....	27
3.4 Trabajo de Laboratorio .....	28
3.4.1 Ensayo de resistencia a la degradación de agregados por abrasión e impacto en la máquina de los Angeles .....	28

## CAPITULO IV .....

ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS .....	31
4.1 Metodología de Trabajo .....	31
4.2 Análisis comparativo de ambos miembros .....	32
CONCLUSIONES .....	35
RECOMENDACIONES .....	37
ANEXOS .....	39
ANEXO A: Definición de los niveles litológicos ....	40
ANEXO B: Utilización de los materiales según las normas del M.O.P. de resistencia a la abrasión. ....	42
ANEXO C: Resultados de los ensayos de resisten- cia a la abrasión de los Angeles de los Miembros Cayo s.s y Guayaquil Chert.....	44

ANEXO D: Modelos de Ensayos de Resistencia a la  
Abrasión en la Máquina de los Angeles .... 53

ANEXO E: Fotografías de las zonas muestreadas ..... 60

PLANOS

BIBLIOGRAFIA ..... 65

## INDICE DE ABREVIATURAS

ASTM	:	American Society for Testing and Materials
Az.	:	Azimuth
cm	:	Centímetro
D.A	:	Desgaste a la abrasión
m	:	Metros
Pi	:	Peso inicial
Pf	:	Peso final
prom	:	Promedio
°	:	Grados
%	:	Porcentaje

## INTRODUCCION

En la ciudad de Guayaquil y en las cercanías afloran la Formación Cayo de edad cretácica, la misma que conforma la cordillera Chongón Colonche.

Desde sus inicios de su urbanización se utilizaron los materiales pétreos en la ciudad de Guayaquil y en las áreas aledañas a la ciudad, así como en las obras viales.

Los estratos rocosos de la Formación Cayo han sido utilizados para diferentes usos en su calidad de materiales de construcción.

En algunos casos han sido utilizados dichos materiales indebidamente, fundamentalmente por desconocerse sus propiedades ingenieriles y también por causa de la heterogeneidad propia de sus macizos estratificados, con una variación importante de la calidad de capas rocosas.

El presente trabajo tiene el objetivo de definir en términos generales las propiedades de resistencia a la abrasión mecánica de las distintas variaciones

litológicas de las cuales esta constituida la Formación Cayo (excepto Miembro calentura) teniendo en cuenta la existencia de grupos de estratos que en forma de secuencias pueden presentarse en los citados miembros.

## CAPITULO I

### INFORMACION ANTERIOR



#### 1.1 INFORMACION CARTOGRAFICA

Para realizar los estudios requeridos en este trabajo de investigación, fueron de importancia los mapas geológicos y topográficos escala 1:50000 preparados por el Instituto Geográfico Militar (IGM).1982, así como también el Mapa geológico de los cerros de Durán, de la tesis de grado "Geología de los Cerros de Durán" (1).

#### 1.2 INFORMACION GEOLOGICA

En el área de geología se contó con grande y variada información, el Léxico Estratigráfico base de las actuales y futuras investigaciones en el Ecuador, ha sido frecuentemente empleado en la elaboración de este trabajo.

La mayor parte de la información geológica ha sido

recopilada de tesis de grado (1,6). Otra información ha sido obtenida de investigaciones realizadas en la Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra (6,10,14) y también con la ayuda de información inédita (14).

### 1.3 GEOMECANICA

Los únicos trabajos realizados referentes al conocimiento de las propiedades de las rocas de la Formación Cayo, han sido efectuados en la ESPOL, entre ellos están, el estudio del Diseño Túnel El Carmen, dos tesis de grado ( referencias 3 y 10), en las cuales se han efectuado pruebas a la compresión simple, tensión indirecta, y carga puntual, además de la determinación de las propiedades elásticas mediante el impulso sónico. Estos trabajos han servido para comprender mejor el problema de la resistencia al desgaste que presentan las rocas de la Formación Cayo.

### 1.4 TRABAJOS SOBRE LA RESISTENCIA A LA ABRASION

En la ciudad de Guayaquil, existen algunos laboratorios de Mecánica de suelos y materiales, en los cuales desde hace algunos años han venido efectuándose ensayos de resistencia a la abrasión de los

Angeles y al sulfato sin especificar la procedencia del material, esta información solo ha servido para tener valores referenciales de ensayos en el área de Guayaquil, razón por la cual se procedió a efectuar los ensayos de Abrasión de los Angeles.

## CAPITULO II

### UBICACION Y GEOLOGIA LOCAL

#### 2.1 UBICACION

Para realizar la presente investigación se seleccionó un área tipo, en la cual se disponía de una detallada información geológica y además se tenía la mayor cantidad posible de afloramientos y más que nada frentes de cantera.

El sector seleccionado fueron los Cerros de Durán, por cuanto se tenía también una diversidad litológica a partir de cuyo estudio se podía proyectar la información hacia las otras áreas de la Formación Cayo, excepto el miembro Calentura.

El estudio se sitúa específicamente en los cerros de Durán, estos se encuentran en la margen izquierda del Río Guayas y son parte de la Cordillera Chongón Colonche constituida mayormente por la formación Cayo.

El área estudiada tiene 16 km.<sup>2</sup> de superficie (8 km. de largo y 2 km. de ancho ), esta situado en el cantón Durán, Provincia del Guayas (1).

## 2.2 LA FORMACION CAYO

Fue llamada así por primera vez por Olson (1942). Su nombre original es "Callo", pero poco a poco va siendo reemplazado por el nombre de Cayo.

El nombre proviene de Puerto Cayo (295 510), en donde aflora como localidad tipo y sigue en los cerros de Chongón Colonche, en las cercanías de Guayaquil (6).

Esta formación esta constituida por un paquete de aproximadamente 3000m de espesor de una serie volcano-sedimentaria. Esta caracterizada por una superposición de diferentes litologías (6,14).

En el Cretáceo Superior Cenomaniano-Turoniano, se inicia la sedimentación marina de la Formación Cayo, constituida por el miembro basal Calentura, el cual presenta pocos afloramientos.

En el Senoniano llegando posiblemente al Maestrich-tiano, se depositó el miembro Cayo S.S. y la parte superior de la Formación Cayo es el miembro Guaya-

quil (1).

En el lugar de estudio, los cerros de Durán, se presentan dos de los miembros de la Formación Cayo: el miembro Guayaquil y el miembro Cayo S.S.

#### **Miembro Guayaquil.**

Considerado por algunos autores como una formación. En la actualidad, se lo incluye como el miembro superior de la Cayo. Su autor fue Sinclair.

Se presenta como localidad tipo hacia la salida de Guayaquil (223 588), en afloramientos a lo largo de las canteras del cerro Sta. Ana (14).

Consiste básicamente de lutitas silicificadas en capas delgadas de color gris claro hasta negro (ver anexo E, foto #1). Localmente la roca puede ser reemplazada completamente por sílice, observándose además nódulos de pirita y vetas de cuarzo (6).

Entre las capas de chert, se encuentran pequeñas capas de lutita y tobas calcáreas.

La potencia de este miembro es variable, encontrándose a lo largo de la Cordillera Chongón Colonche hasta unos 80 kms al NW de Guayaquil, espesores de

hasta 450ms; mientras que en las cercanías de la Península de Sta. Elena, alcanzan 750mts. En este lugar el miembro Guayaquil es confundido con la Formación Santa Elena o Wild Flisch (3).

Según Sinclair & Berkey (1924), mucha de la silicificación parece ser secundaria, por lo cual es posible que la edad de los niveles silicificados varíe, finalmente se puede notar que el paso entre Cayo S.S. y el Guayaquil chert, es de transición gradual.

#### MIEMBRO CAYO SENSUS STRICTUS

Representan la parte media de la Formación y las distintas asociaciones litológicas presentes son: aglomerados y areniscas, las cuales contienen desde grandes cantos rodados (120 cm de diámetro), hasta granos muy finos de areniscas. Los aglomerados generalmente están compuestos por el 90% de material básico ígneo. Las areniscas son en su mayor parte cuarzosas, pero tienen significativas cantidades de calcita, feldespatos, magnetita y anfíbol, son normalmente café a verdoso oscuro-gris, y están clasificados como grawacas y subgrawacas (3).

Las lutitas son de color habano a oliva negro y generalmente tienen un tinte verdoso, encontrándose

en estratos de 60 cms de espesor. Son duras a muy duras, localmente silíceas y usualmente se quiebran en fractura concoidal (3).

El aglomerado volcánico se lo encuentra usualmente en la parte baja de las series y se confunden a veces con los conglomerados. Presentan en ciertos lugares espesores que llegan hasta los 125m. y casi siempre de un color verde a verdoso gris-negro.

## 2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

### 2.3.1 PRINCIPALES ESTRUCTURAS

Fallas.- Las fallas que más afectan esta zona son fallas normales que han provocado un desplazamiento del contacto entre los miembros Cayo SS y el Guayaquil, es por esto que se puede observar que esta zona se encuentra muy fallada. Se ha inferido que la dirección principal de falla es de  $10^{\circ}$  a  $20^{\circ}$  Az. Existe también en cada uno de los cerros fallamientos en pequeña escala (1).

Estratificación.- La estratificación de la zona tiene un promedio de  $108^{\circ}$  Az. de dirección con un buzamiento de  $20^{\circ}$  hacia el Sur (1).

Diaclasas.- La dirección de cada diaclasamiento será dada para cada uno de los cinco cerros de Durán: En Cerro Grande las 3 direcciones principales de diaclasamiento son:  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$ Az.,  $70^{\circ}$ - $80^{\circ}$ Az.,  $120^{\circ}$ -  $130^{\circ}$ Az.(1).

En Cerro Redondo las direcciones principales son:  $40^{\circ}$ - $70^{\circ}$ Az.,  $110^{\circ}$ - $140^{\circ}$  Az.,  $0^{\circ}$ - $20^{\circ}$ Az.

En Cerro Mexicano las direcciones son:  $140^{\circ}$ - $150^{\circ}$ ,  $130^{\circ}$ - $140^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$  Az.

En Cerro Cuatro las direcciones son:  $140^{\circ}$ - $150^{\circ}$ Az. y en menor frecuencia  $80^{\circ}$ - $110^{\circ}$  Az.

En Cerro Tres o las Cabras las siguientes son las direcciones:  $170^{\circ}$ - $180^{\circ}$ ,  $140^{\circ}$ - $150$ ,  $70^{\circ}$ - $80^{\circ}$ Az.

Las dos direcciones principales de diaclasamiento en el conjunto de Cerros son:  $144^{\circ}/70^{\circ}$  NE y  $176^{\circ}/80^{\circ}$  SW.

Las rocas que presentan mayor diaclasamiento son las lutitas silíceas del miembro Guayaquil y las menos diaclasadas son las rocas de grano grueso del Miembro Cayo SS (1).

Pliegues.- En la zona estudiada es muy común encontrarse con gran variedad de pliegues, especialmente en la zona de Cerro Redondo (ver anexo E, foto #2) y en Cerro Mexicano (ver anexo E, foto #3) de tipo asimétrico, isópaco, etc.

La dirección promedio de los ejes de pliegues es  $56^{\circ}\text{Az.}(1)$ .

## CAPITULO III

### INVESTIGACION DE CAMPO Y LABORATORIO

#### 3.1 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO

Los macizos pertenecientes a los Cerros de Durán a los cuales se les hizo el reconocimiento geológico son los Cerros Grande, Redondo, Mexicano, Cuatro y Tres o Cerro Las Cabras, que tienen una altura de hasta 90m. sobre el nivel del mar.

Para realizar un reconocimiento litológico del sitio, se utilizó como base la información ya descrita, luego se recorrieron todos los Cerros de Durán, para tratar de hacer una diferenciación litológica mediante la identificación de una columna estratigráfica tipo y una diferenciación geomecánica producto del análisis posterior de las muestras.

#### 3.2 RELACION LITOLOGICA GEOMECANICA

En base al reconocimiento de campo y adoptando un

criterio práctico se decidió agrupar niveles de estratos de las mismas características litoestati-  
gráficas con la finalidad de asignarles caracterís-  
ticas y propiedades comparables que permitan su iden-  
tificación.

En el área tipo estudiada se tienen dos de los tres miembros de la Formación Cayo, denominado Cayo S.S. y el miembro Guayaquil Chert, por lo que se definieron los niveles en los términos que siguen.

En el miembro Cayo S.S. se encontraron niveles identificados como sigue:

#### Nivel A. Brechas y Microbrechas.-

Este nivel está caracterizado por tener fragmentos volcánicos que constituyen un 50% a 60%, estos fragmentos son tobas finas.

Este material tiene colores típicos de gris oscuro a gris verdoso, el color verdoso puede ser dado por su matriz fina que algunas veces se cloritiza, también se encuentran feldespatos y estos se presentan calcificados o cloritizados. Se lo identifica como C2.

#### Nivel B. Areniscas.-

Estas son rocas de color gris oscuro, donde los granos llegan a tener hasta 3mm. y tienen forma angular. Estan compuestas por fragmentos de rocas detríticas de origen volcánico. Estos fragmentos de roca se encuentran en distinto estado de oxidación. Se lo identifica como C3 y C4.

#### Nivel C. Limolitas y lutitas.-

Rocas de color café, gris claro a oscuro, se encuentran bien consolidados.

Las lutitas y limolitas se encuentran intercaladas repetidas veces. La matriz es arcillosa y se encuentra calcitizada y silicificada, también se encuentran feldespatos y minerales opacos (1). Se lo identifica como C1.

En el miembro Guayaquil se distinguen dos niveles litológicos geomecánicos, identificados así:

#### Nivel D. Limolitas Silíceas.-

Se presentan de color crema a café claro y gris; las primeras son calcáreas con matriz arcillosa calcárea en un 80%. Existen feldespatos en un 5%, también se observan fracturas rellenas de calcita. Las lutitas

fueron primeramente calcificadas y luego silicificadas : contienen radiolarios y foraminiferos calcificados y silicificados, en general estas rocas estan bien laminadas y consolidadas. Se lo identifica como G1.

#### **Nivel E. Lutitas Silicificadas.-**

Lutita bien silicificada, de color azul a gris oscuro, con nódulos de pedernal o chert, consolidado con presencia de radiolarios silicificados.

En base a este esquema se muestreben los diferentes niveles y se hicieron los ensayos necesarios. Se lo identifica como G2.

### **3.3 MUESTREO**

El muestreo fue hecho in situ, obteniendose muestras inalteradas, en los diferentes niveles antes descritos.

Las muestras se tomaron desprendiendo estratos previamente seleccionados, conservando su estructura, es decir que estas muestras podrian ser consideradas inalteradas.

Otras muestras se tomaron fragmentando estratos potentes con la ayuda de un combo, en tamaños de bloques de roca aproximadamente de 20 cm., estas muestras pueden ser consideradas alteradas.

### 3.4 TRABAJO DE LABORATORIO

Se procedió primero a fragmentar las muestras hasta 10cm. aproximadamente para introducirlas a una trituradora de quijada.

La máquina tipo Dodge está constituida por una prensadora móvil similar a 2 quijadas de las cuales la una es fija y la otra es animada por un movimiento alternativo producto de una biela excéntrica y de placas de articulación. Dos volantes de inercia regularizan el movimiento.

Mediante la trituración se obtuvo un material variado con bloques que podían pasar del tamiz 1½, y se procedió al ensayo de granulometría, para cumplir con las especificaciones del ensayo de degradación de la máquina de los Angeles.

#### 3.4.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE AGREGADOS POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES

Para el ensayo se utilizó la norma ASTM C 131-81 revisada en 1987 (5). El método cubre un procedimiento para agregados de tamaño menor que 1½.

El ensayo de abrasión de los Angeles es una de degradación del agregado del mineral de tamaño estandar, resulta de una combinación de acciones incluyendo abrasión, atrición, impacto y molienda en un tambor de acero rodante conteniendo un número específico de esferas de acero, el número depende de la gradación o tamaños de la muestra a ensayar.

Dentro del tambor se produce la rotación, entonces la muestra es triturada al ser comprimida por las esferas de acero contra el plato.

Luego de un número predeterminado de revoluciones, los contenidos son removidos desde el tambor y la porción es tamizada para medir la degradación en función del porcentaje de fragmentos de roca que fueron reducidos en su granulometría por los efectos mecánicos de la prueba.

Este ensayo de los Angeles ha sido muy usado

como un indicador de la relativa calidad o competencia de los agregados teniendo similar composición mineral.

Los resultados que se obtienen caracterizan material rocoso fragmentado y así se evalúa su comportamiento como material de construcción tanto para rellenos como para agregados de hormigón.

La relación empleada para determinar el porcentaje total de desgaste a la abrasión es :

$$D.A.\% = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

$P_i$  = peso inicial de la muestra.

$P_f$  = peso final de la muestra. (ver anexo D).

## CAPITULO 4

### ANALISIS GENERAL DE RESULTADOS

#### 4.1 METODOLOGIA DE TRABAJO

En el presente trabajo se han realizado muestreos en los diferentes tipos de roca que se encuentran en las variaciones litológicas de la Formación Cayo.

Este criterio fue adoptado debido a que, en estudios de propiedades geomecánicas efectuados para dicha formación, se establece una mayor correspondencia de las propiedades geomecánicas con el tipo de estrato, antes que con el tiempo geológico del miembro o con su edad geológica.

Teniendo en cuenta los anteriores criterios y con la finalidad de intentar deducir conclusiones prácticas se decidió utilizar como parámetros de apoyo para definir las propiedades geomecánicas al desgaste, otros parámetros geomecánicos tales como la resistencia a la compresión simple, la tracción

indirecta, velocidad sónica, etc., que se efectuaron para estratos similares.

Sin embargo es conveniente puntualizar que no ha sido posible establecer el grado de meteorización de los estratos rocosos en relación con los de estudios anteriores (3,10), aquí puede estar la explicación de la causa por lo cual algunos valores de resistencia al desgaste obtenidos en este estudio y otros anteriores sean en ciertos casos significativos.

Los valores de desgaste obtenidos en los ensayos se presentan en la tabla I, y están en concordancia con la división de unidades tipo propuesta en el numeral 3.2.

Tal como se constata en la citada tabla, los resultados obtenidos están referidos a las especificaciones generales del M.O.P.-1976 lo cual se muestra en la tabla número 2.

#### **4.2 ANALISIS COMPARATIVO DE AMBOS MIEMBROS**

Se tomó en cuenta la existencia de unidades similares del macizo, la potencia de cada nivel, la secuencia estratigráfica, el valor promedio de resistencia al desgaste obtenido en las canteras, el espesor

promedial de estratos y la litología. También se estableció la resistencia al desgaste individual de los estratos típicos.

Considerando lo antes mencionado se analizaron los dos miembros geológicos, obteniéndose lo siguiente:

#### MIEMBRO GUAYAQUIL

En este miembro se definieron 2 niveles litológicos geomecánicos, denominados A2 y B2, tal como se constata en la tabla I. Los resultados obtenidos en resistencia al desgaste tienen un escaso margen de diferencia, por lo que se establece que los dos niveles definidos podrían ser considerados uno solo para efectos de evaluar su resistencia a la abrasión.

Es necesario acotar que dentro del miembro Guayaquil no se consideraron los estratos delgados que se intercalan entre las capas del Chert y la lutita silicificada.

Promedialmente el miembro Guayaquil presenta un 21.39% de resistencia al desgaste a la abrasión.

#### MIEMBRO CAYO S.S.

En los cuatro niveles definidos en este miembro geológico se determinaron valores algo diferentes en las unidades C1, C2, C3, C4, pudiéndose establecer que en la práctica su resistencia al desgaste varía en un rango de 2 al 3%. La unidad C2 es en cambio muy diferente ya que presenta una resistencia al desgaste del 60% debiendo anotarse que dicho nivel presenta un espesor potente de un material brechoso meteorizado en diferentes grados. En la práctica esta unidad estratigráfica debería de ser desechada en su uso como material de construcción.

En lo concerniente a los niveles C1, C3 y C4 se establece un valor promedial del 26.86% de resistencia al desgaste.

## CONCLUSIONES

De los trabajos de campo y de laboratorio efectuados durante el desarrollo del presente trabajo se concluye :

1. Existen seis niveles litológicos geomecánicos diferenciados; cuatro en el miembro Cayo S.S. y dos en el miembro Guayaquil (Anexo A).

Luego de efectuados los respectivos ensayos de resistencia a la abrasión de los Angeles, se ha podido establecer que dos niveles geomecánicos que pertenecen al Miembro Guayaquil Chert presentan una resistencia al desgaste relativamente alta (anexo B), debido fundamentalmente a la silicificación que presenta. De acuerdo a normas del M.O.P. dichos materiales pueden servir para agregado fino y grueso de hormigón, base y sub-base de caminos.

Se ha encontrado igualmente que los estratos o niveles brechosos de la Formación Cayo ( C2 ) son los menores valores de resistencia al desgaste, que no cumplen ninguna especificación como material de

pavimento excepto como material de relleno.

2. Los niveles caracterizados presentan aproximadamente la misma resistencia a la abrasión, en cualquier lugar donde afloren los miembros estudiados, exceptuando alguna variación local que se presente debido a efectos de la meteorización .

## RECOMENDACIONES

Evidentemente el objetivo de este trabajo ha sido el de determinar la resistencia al desgaste, mediante el método mecánico de la abrasión de los diferentes niveles de estratos de la formación Cayo. Este trabajo se ha apoyado mucho en las observaciones geológicas de campo y en los resultados de los ensayos de muestras tomadas en algunos sitios de un mismo sector.

Es conveniente en consecuencia que se estudien otros sectores de la Formación Cayo donde posiblemente se tengan otros valores de resistencia al desgaste.

Por otra parte es necesario también que se efectuen otros tipos de ensayos de resistencia al desgaste, tal es el caso de desgaste al sulfato, la fragmentación dinámica (fragmentación por impacto). En lo concerniente a la prueba de desgaste al sulfato se considera que dicha prueba, siendo de ataque químico al material podría dar resultados más representativos o tal vez más rigurosos dentro de la evaluación al desgaste del material.

Finalmente se recomienda que para investigaciones futuras, se estudie al mismo tiempo en un tipo de muestra, varias propiedades geomecánicas incluyendo la resistencia al desgaste. El objetivo sería establecer correlaciones entre propiedades, para de esta forma obtenerse relaciones de fácil utilización práctica.

A N E X O S

A N E X O A  
DEFINICION DE LOS NIVELES LITOLÓGICOS

TABLA # I

MUESTRA	COORDENADAS	DESCRIPCION
61	880 - 9758.645	Limolitas silicificadas de color gris blanquinoso, se encuentra intercaladas con el material 62 Y con estratos de limolitas delesnables. Alcanzan 20m de espesor.
62	880 - 9758.645	Lutita silicificada de color gris a azul oscuro, con nodulos de pedernal los estratos son de tamaño promedio 15 cm, tiene intercalaciones de material arenoso arcilloso no compacto, estas pequeñas capas alcanzan los 5cm.
C1	060 - 9760.105	Estratificaciones de lutitas bien consolidadas con reemplazo de silicificación.
C2	060 - 9760.105	Potentes estratos de brecha color gris oscuro, muy meteorizado. Las brechas están formadas por clastos de hasta 1cm.
C3	060 - 9760.105	Arenisca de grano fino con matriz arcillosa, color café, con intercalaciones de lutitas centimétricas.
C4	670 - 9759.440	Areniscas de grano medio a grueso, de color gris oscuro con tono verdoso debido al contenido de glauconita, se lo observa masivo y de mucha potencia. Alcanza 2 metros.

Mi :  
M = miembro geológico.  
i = nivel litológico.

A N E X O B

UTILIZACION DE LOS MATERIALES SEGUN LAS NORMAS DEL M.O.P.  
DE RESISTENCIA A LA ABRASION.

TABLA # II

MUESTRA	MIEMBRO	% DE ABRASION	USO DEL MATERIAL	% PROM.DE ABRASION
61	Guayaquil	21.89	arido de hormigon bases de agregado triturado base estabilizadora con cemento portland base de agregado estabilizador con cal hidratada. base de agregados estabilizadores con asfalto. sub-base material de relleno	40 40 40 40 40 50
62	Guayaquil	20.9	Igual 61	Igual 61
C1	Cayo S.S.	25.81	arido de hormigon bases de agregado triturado base estabilizadora con cemento portland base de agregado estabilizador con cal hidratada. base de agregados estabilizadores con asfalto. sub-base material de relleno	40 40 40 40 40 50
C2	Cayo S.S.	60.00	Material de relleno	
C3	Cayo S.S.	26.57	Igual C1	Igual C1
C4	Cayo S.S.	28.21	Igual C1	Igual C1

A N E X O C

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA ABRASION DE  
LOS ANGELES DE LOS MATERIALES DE LOS MIEMBROS CAYO S.S. Y  
GUAYAQUIL CHERT.

TABLA III

NOMBRE DE LA ROCA : LIMOLITA SILICIFICADA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. GUAYAQUIL  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 627.880 - 9758.645

MUESTRA Nº.	D.A. %	D.A. % prom.
G1-1	19.9	
G1-2	23.2	21.89
G1-3	22.57	

TABLA IV

NOMBRE DE LA ROCA : LIMOLITA SILICIFICADA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. GUAYAQUIL  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.375 - 9759.690

MUESTRA Nº.	D.A. %	D.A. % prom.
G1-4	22.62	
G1-5	20.4	21.84
G1-6	22.5	

Mi-j :

M: miembro geológico

i: nivel litológico geomecánico

j: número de muestra

TABLA V

NOMBRE DE LA ROCA : LUTITA SILICIFICADA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. GUAYAQUIL  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 627.880 - 9758.645

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
G2-1	18.9	
G2-2	22.0	20.5
G2-3	20.6	

TABLA VI

NOMBRE DE LA ROCA : LUTITA SILICIFICADA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. GUAYAQUIL  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.375 - 9759.695

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
G2-5	21.8	
G2-6	20.9	21.3
G2-7	21.2	

$$G2 \text{ prom} = 20.5 + 21.3 = 20.9$$

TABLA VII

NOMBRE DE LA ROCA : LUTITA CALCAREA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.060 - 9760.105

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C1-1	24.9	
C1-2	26.0	25.4
C1-3	25.3	

TABLA VIII

NOMBRE DE LA ROCA : LUTITA CALCAREA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.575 - 9760.1525

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C1-4	26.2	
C1-5	25.5	25.9
C1-6	26.0	

TABLA IX

NOMBRE DE LA ROCA : LUTITA CALCAREA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO CUATRO  
 COORDENADAS : 631.000 - 9759.7500

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C1-7	25.8	26.0
C1-8	26.2	

TABLA X

NOMBRE DE LA ROCA : LUTITA CALCAREA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO MEXICANO  
 COORDENADAS : 632.425 - 9759.6500

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C1-8	26.1	25.94
C1-9	25.78	

$$C1_{prom} = 25.4 + 25.9 + 26.0 + 25.94 / 4 = 25.81$$

TABLA XI

NOMBRE DE LA ROCA : BRECHA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.060 - 9760.105

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C2-1	58.4	
C2-2	59.4	60.0
C2-3	62.2	

TABLA XII

NOMBRE DE LA ROCA : BRECHA  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.575 - 9760.1525

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C2-4	52.5	
C2-5	58.3	60.0
C2-6	57.8	
C2-7	61.4	

TABLA XIII

NOMBRE DE LA ROCA : ARENISCA DE GRANO FINO  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.060 - 9760.105

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C3-1	27.1	
C3-2	26.61	26.64
C3-3	26.21	

TABLA XIV

NOMBRE DE LA ROCA : ARENISCA DE GRANO FINO  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO REDONDO  
 COORDENADAS : 633.150 - 9760.295

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C3-4	26.5	
C3-5	26.3	26.5
C3-6	26.7	

$$C3_{prom} = 26.57 + 26.5 / 2 = 26.57$$

TABLA XV

NOMBRE DE LA ROCA : ARENISCA DE GRAND GRUESO  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO TRES  
 COORDENADAS : 629.670 - 9759.440

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C4-1	28.23	
C4-2	28.4	28.21
C4-3	27.97	

TABLA XVI

NOMBRE DE LA ROCA : ARENISCA DE GRAND GRUESO  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO CUATRO  
 COORDENADAS : 631.000 - 9759.7500

MUESTRA	D.A.	D.A.
Nº	%	%
C4-4	28.1	
C4-5	27.9	27.9
C4-6	27.7	

TABLA XVII

NOMBRE DE LA ROCA : ARENISCA DE GRANO GRUESO  
 FORMACION GEOLOGICA : CAYO M. CAYO S.S.  
 LUGAR DE MUESTREO : CERRO GRANDE  
 COORDENADAS : 634.352 - 9760.105  
 MUESTRA D.A. D.A.

Nº	%	%
C4-7	28.7	28.53
C4-8	28.36	

$$C4prom = 28.2 + 27.9 + 28.53 / 3 = 28.21$$

A N E X O D

MODELOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA ABRASION EN LA  
MAQUINA DE LOS ANGELES

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE AGREGADOS POR  
 ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES  
 (ASTM C 131-81 (87) )

MUESTRA: G1-3 COORDENADAS: 627.880 - 9758.645

DESCRIPCION: LIMOLITA SILICIFICADA

LUGAR DE MUESTREO: CERRO TRES

TAMANO DE MATRICES

PASANTE	RETENIDO	PESO (GR)
1 ½"	1"	1251
1"	¾"	1249
¾"	½"	1240
½"	⅜"	1244
		-----
		4984

GRADACION: A

NUM. DE BOLAS: 12

TOTAL DE REVOLUCIONES: 500

PESO RETENIDO EN TAMIZ No. 12

luego del ensayo

a las 100 revoluciones: 4540

a las 500 revoluciones: 3859.00

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{4984 - 4540}{4984} \times 100 = 8.91$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{4984 - 3859.11}{4984} \times 500 = 22.57$$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE AGREGADOS POR  
 ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES  
 (ASTM C 131-81 (87) )

MUESTRA: G2-6                      COORDENADAS: 629.375 - 9759.695

DESCRIPCION: LUTITA SILICIFICADA

LUGAR DE MUESTREO: CERRO TRES

TAMANO DE MATRICES

PASANTE	RETENIDO	PESO (GR)
1 ½"	1"	1250
1"	¾"	1249
¾"	½"	1247
½"	⅜"	1248
		-----
		4994

GRADACION: A

NUM. DE BOLAS: 12

TOTAL DE REVOLUCIONES: 500

PESO RETENIDO EN TAMIZ No. 12

luego del ensayo

a las 100 revoluciones: 4763

a las 500 revoluciones: 3950

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{4994 - 4763}{4994} \times 100 = 4.62$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{4994 - 3950}{4994} \times 500 = 20.905$$



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE AGREGADOS POR  
 ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES  
 (ASTM C 131-81 (87) )

MUESTRA: C1-7 COORDENADAS: 631.000 - 9759.7500

DESCRIPCION: LUTITA CALCAREA

LUGAR DE MUESTREO: CERRO CUATRO

TAMANO DE MATRICES

PASANTE	RETENIDO	PESO (GR)
1 ½"	1"	1248
1"	¾"	1250
¾"	½"	1251
½"	⅜"	1253
		-----
		5002

GRADACION: A

NUM. DE BOLAS: 12

TOTAL DE REVOLUCIONES: 500

PESO RETENIDO EN TAMIZ No. 12

luego del ensayo

a las 100 revoluciones: 4751.9

a las 500 revoluciones: 3711

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5002 - 4751.9}{5002} \times 100 = 5.00$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5002 - 3711}{5002} \times 500 = 25.81$$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE AGREGADOS POR  
 ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES  
 (ASTM C 131-81 (87) )

MUESTRA: C2-4                      COORDENADAS: 629.575 - 9760.1525

DESCRIPCION: BRECHA

LUGAR DE MUESTREO: CERRO TRES

TAMANO DE MATRICES

PASANTE	RETENIDO	PESO (GR)
1 ½"	1"	1252
1"	¾"	1249
¾"	½"	1250
½"	⅜"	1251
		-----
		5002



GRADACION: A

NUM. DE BOLAS: 12

TOTAL DE REVOLUCIONES: 500

PESO RETENIDO EN TAMIZ No. 12

luego del ensayo

a las 100 revoluciones: 4192

a las 500 revoluciones: 1875

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5002 - 4192}{5002} \times 100 = 16.19$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5002 - 1875}{5002} \times 500 = 62.5$$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE AGREGADOS POR  
 ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES  
 (ASTM C 131-81 (87) )

MUESTRA: C3-4                      COORDENADAS: 633.150 - 9760.2950

DESCRIPCION: ARENISCA DE GRANO FINA

LUGAR DE MUESTREO: CERRO REDONDO

TAMANO DE MATRICES

PASANTE	RETENIDO	PESO (GR)
1 ½"	1"	1249
1"	¾"	1250
¾"	½"	1249
½"	⅜"	1250
		-----
		4998

GRADACION: A

NUM. DE BOLAS: 12

TOTAL DE REVOLUCIONES: 500

PESO RETENIDO EN TAMIZ No. 12

luego del ensayo

a las 100 revoluciones: 4676

a las 500 revoluciones: 3673.5

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{4998 - 4676}{4998} \times 100 = 6.44$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{4998 - 3673.5}{4998} \times 500 = 26.5$$

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA DEGRADACION DE AGREGADOS POR  
 ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ANGELES  
 (ASTM C 131-81 (87) )

MUESTRA: C4-1                      COORDENADAS: 629.670 - 9759.440

DESCRIPCION: ARENISCA DE GRANO GRUESO

LUGAR DE MUESTREO: CERRO TRES

TAMANO DE MATRICES

PASANTE	RETENIDO	PESO (GR)
1 ½"	1"	1272
1"	¾"	1260
¾"	½"	1260
½"	⅜"	1260
		-----
		5052

GRADACION: A

NUM. DE BOLAS: 12

TOTAL DE REVOLUCIONES: 500

PESO RETENIDO EN TAMIZ No. 12

luego del ensayo

a las 100 revoluciones: 4540

a las 500 revoluciones: 3627

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5052 - 4540}{5052} \times 100 = 10.13$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{5052 - 3627}{5052} \times 500 = 28.21$$



A N E X O E  
FOTOGRAFIAS DE LA ZONAS MUESTREADAS



FOTO # 1

Lutita silicificada de gris a azul, con nódulos de pedernal. Cerro Grande. Miembro Guayaquil. Coordenada 633.150 - 9760.105



FOTO # 2

Plegamiento de los Estratos del Miembro Cayo S.S. en el Cerro Redondo Coordenadas 633.150 - 9760.293

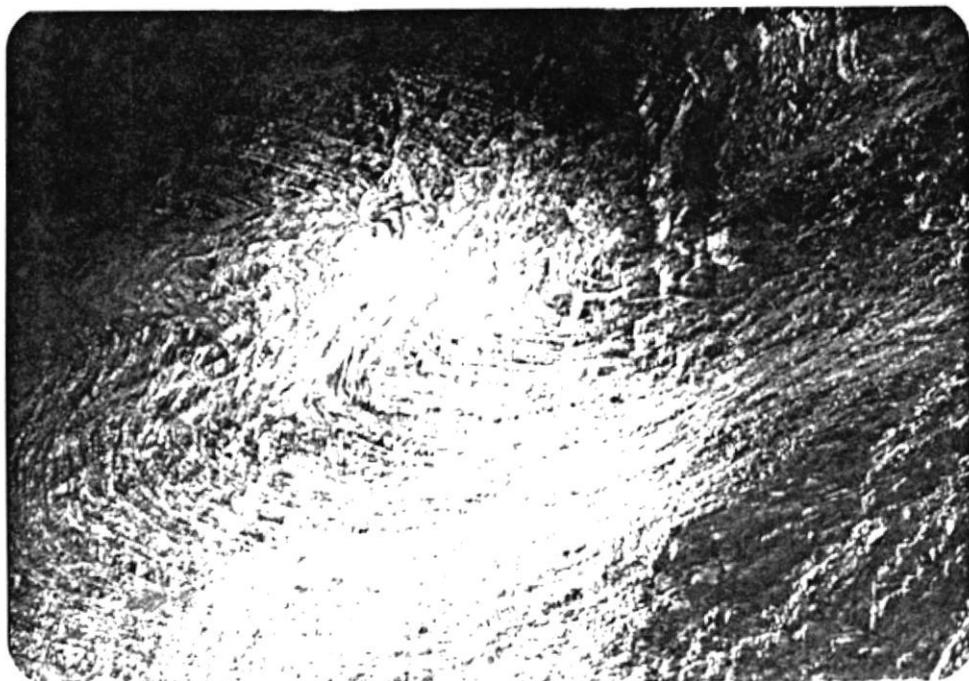


FOTO # 3

Pliegue recumbente en estratos del Miembro Cayo S.S.  
Cerro Mexicano. Coordenadas 632.425 - 9759.6500.

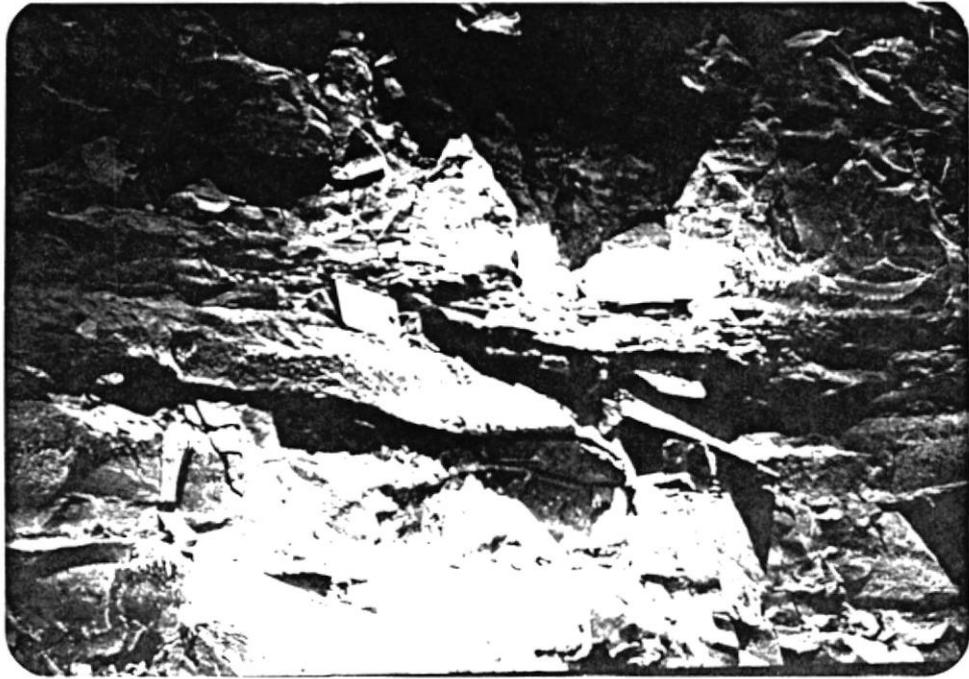


FOTO # 4

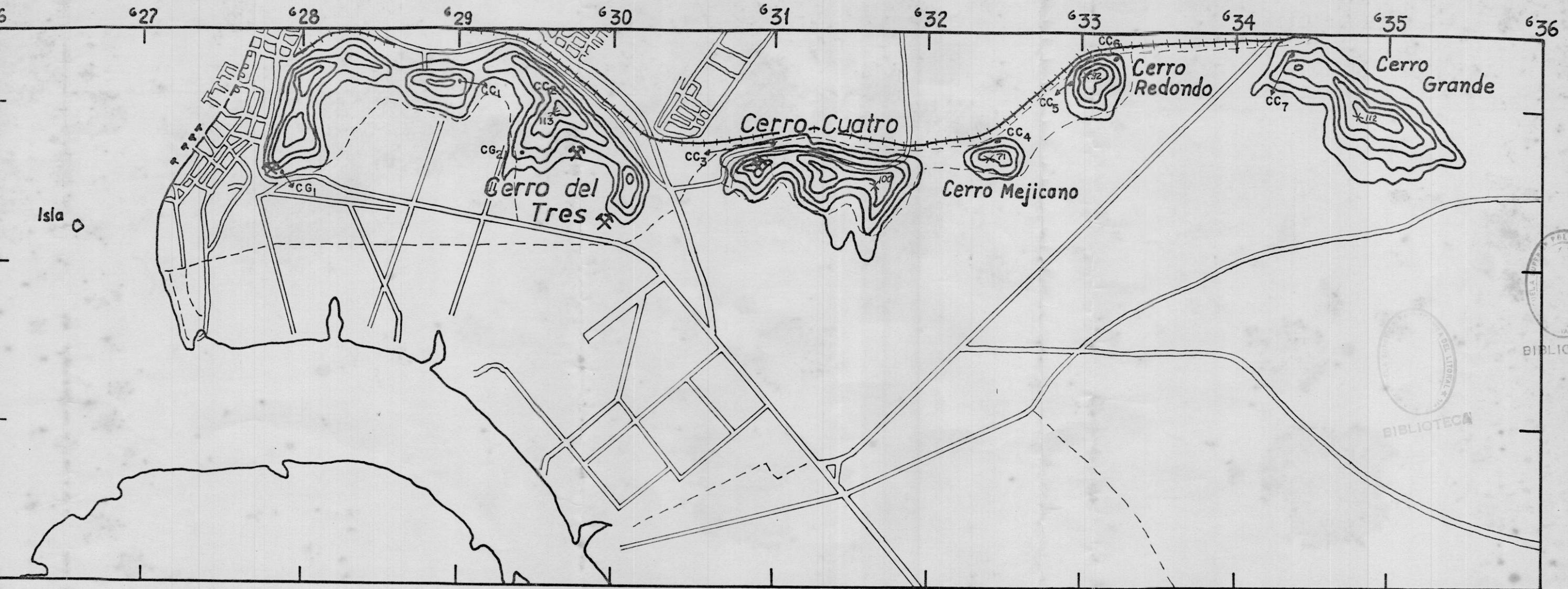
Material arcilloso intercalado en lutitas silicificadas  
del Miembro Guayaquil. Coordenadas 627.880 - 9758.645.

## B I B L I O G R A F I A

1. ALVARADO, E. F. Geología de los Cerros de Durán, Tesis Previa a la Obtención del Título de Ing. Geólogo, ESPOL, 1989.
2. ASTM., American Society for Testing Materials, Designation C 131-81, EEUU, 1987, pag 73-75.
3. BALSECA, F. C. Propiedades de los Materiales Rocosos de la Baja Cuenca del Guayas, Tesis Previa a la Obtención del Título de Ing. Geotécnico, ESPOL, 1982.
4. BENITEZ S., Contribución al Estudio de las Cuencas Sedimentarias del SO Ecuatoriano. III Congreso Ecuatoriano de Ingenieros Geologos de Minas Y Petróleos. Tomo 1A, Guayaquil, 1983, pg. 8-13.
5. BENITEZ S., Estratigrafía de las Formaciones Cayo y Guayaquil: Hacia una Redefinición, V Congreso Ecuatoriano de Geología Minas Petróleo y Ciencias Afines, Memorias en Edición, Loja, 1988, 23p.

6. BRISTOW C. R., HOFFSTETTER R., Lexico Estratigráfico Internacional. Fasc. 5 a 2, Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Francia, 1977, 412p.
7. CALLE J., Estudio Geológico Definitivo de la Vía Perimetral de Guayaquil, Guayaquil, 1979, 180p.
8. CORRALES I. ET AL., Estratigrafía, Editorial Ruales, Madrid, 1977, 718 p
9. KERR P. F., Mineralogía Optica, Ediciones Castilla, Madrid, 1965, 432 p.
10. MENDOZA R., Comportamiento Geomecánico de los materiales rocosos de la Formación Cayo, Tesis Previa a la Obtención del Título de Ing.Geotécnico, ESPOL, 1989.
11. MOP., Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Especificaciones Generales para Construcción de Caminos y Puentes, Quito, 1976, IX-I p. el Concreto, Guayaquil, 1983, 25 p.
12. NUNEZ DEL ARCO E., Primer Informe Semestral, Levantamiento de 13 Cartas Geológicas Escala 1:50000 de las Provincias de Guayas y Manabí, ESPOL, Guayaquil, 1987, 24 p.

13. NUNEZ DEL ARCO E., DUGAS F., Guía Geológica del Suroeste de la Costa Ecuatoriana, ESPOL-CONUEP-ORSTON, Guayaquil, 1985.
14. RADA F., Geología de la Formación Cayo en las cercanías de Guayaquil, ESPOL, Guayaquil, 1987.
15. WILLIAMS H., TURNER F. J., GILBERT CH. M., Petrografía, Centro Nacional de Ayuda Teórica, Agencia Internacional para el Desarrollo (AID), Mexico, 1968, 430 p.



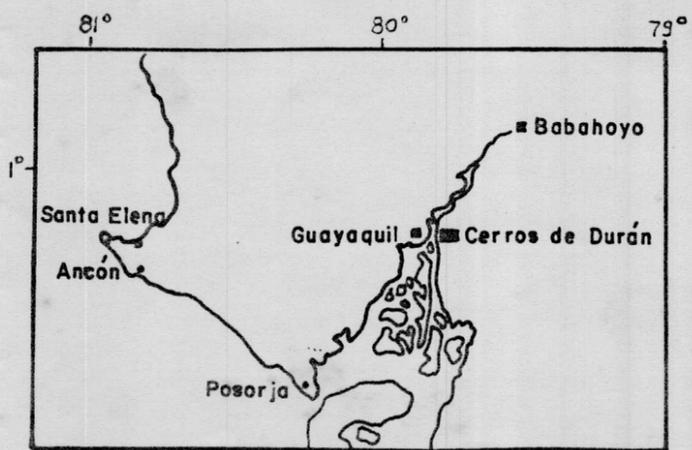
**LEYENDA**

- CGI Formación Cayo Miembro Guayaquil
- CCI Formación Cayo Miembro Cayo SS
- Sub-índice de número de muestreo de Este a Oeste

**SIMBOLOGIA**

- == Vías Principales
- ~ Curvas de Nivel
- - - Sendero o Vereda
- + + + Vía de Ferrocarril
- ⚒ Cantera o Mina

**MAPA DE UBICACION**



ESCUÉLA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		
TOPICO DE GRADUACION INGENIERIA GEOTECNICA		
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA		
MAPA GEOLOGICO Y UBICACION DE MUESTREO DE LOS CERROS DE DURAN		
SYLVIA VASQUEZ SANTISTEVAN		
ESCALA 1:25000	ENERO DE 1990	MAPA Nº 1

